

**Darstellung und Differenzierung des Ramus Circumflexus mittels TEE zur
minimalinvasiven Diagnostik des Versorgungstyps und zur
prophylaktischen Kontrolle eines iatrogenen Verschlusses bei
Mitralklappenrekonstruktion**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Dr. med.

an der Medizinischen Fakultät
der Universität Leipzig

eingereicht von:

Michael Selbach,

geboren am 03.03.1981 in Prüm

angefertigt am 14.01.2015 an der
Klinik für Anästhesie und Intensivmedizin
am Herzzentrum Leipzig

Betreuer:

PD. Dr. med. Jörg Ender

Herzzentrum Leipzig – Universitätsklinik

Abteilung für Anästhesiologie und Intensivmedizin II

Univ.-Professor Dr. med. Udo X. Kaisers

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie

der Universität Leipzig

Beschluss über die Verleihung des Doktorgrades vom: 14.07.2015

Bibliographische Beschreibung

Selbach, Michael

Darstellung des Ramus Circumflexus mittels TEE zur minimalinvasiven Diagnostik des Versorgungstyps und zur prophylaktischen Kontrolle eines iatrogenen Verschlusses bei Mitralklappenrekonstruktion

Universität Leipzig, Dissertation

45 Seiten, 22 Literaturangaben, 23 Abbildungen, 2 Tabellen

Im Rahmen dieser Dissertation wurde in einer prospektiven klinischen Studie bei 110 kardiochirurgischen Patienten, welche sich einer Mitralklappenrekonstruktion [MKR] unterzogen, untersucht, ob mittels transösophagealer Echokardiographie [TEE] die Durchblutung der Koronarien zu Beginn, während und nach der Operation dargestellt werden kann und ob die anatomischen Gegebenheiten gut abzugrenzen sind.

Dabei wurden der Ramus Circumflexus [RCX] und der Sinus Coronarius [SC] im gesamten Verlauf verfolgt, der Diameter proximal (nach Abgang der Aorta), im Verlauf (bei Überkreuzung der arteriellen und venösen Gefäße) und distal bestimmt und der Blutfluss mittels Dopplersonographie dargestellt.

Ein weiterer Punkt war die Untersuchung, ob anhand des Kalibers der Gefäße verlässliche Rückschlüsse auf den Versorgungstyp geschlossen werden können, was sonst nur mittels Koronarangiographie [CA] unter Einsatz von Kontrastmittel invasiv darzustellen war.

Zuletzt wurde beim sich noch in Narkose befindlichen Patienten untersucht, ob evtl. erst postoperativ durch iatrogenen Verschluss aufgetretene Wandbewegungsstörungen mittels TEE minimalinvasiv diagnostiziert werden können, sodass ggf. eine sofortige Intervention erfolgen konnte.

In der Phase der Datenerhebung kam es bei drei Patienten zu Komplikationen im Sinne einer Obstruktion bzw. Stenose der RCX, wobei die Befunde der TEE-Untersuchungen zusammen

mit den klinischen Symptomen in einer anschließenden Koronarangiographie bestätigt wurden.

Die Ergebnisse dieser Studie wurden im Jahr 2010 in „The annals of thoracic surgery“ unter dem Titel „*Echocardiographic Identification of Iatrogenic Injury of the Circumflex Artery During Minimally Invasive Mitral Valve Repair*“ veröffentlicht (1).

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
ACD	Arteria coronaria dextra (rechte Koronararterie)
ACS	Arteria coronaria sinistra (linke Koronararterie)
CA	Coronarangiographie
CPB	Kardiopulmonaler Bypass
EKG	Elektrokardiogramm
IVT	Intermediärversorgungstyp
KDM	Kaliberdurchmesser
LAD	Left anterior descendent
LAX	Long axis
LMCA	Left main coronary artery
LVT	Linksversorgungstyp
ME AK LAX	midösophagealer Aortenklappen-Längsachsenschnitt
MKR	Mitralklappenrekonstruktion
RCA	Right coronary artery
RCX	Ramus Circumflexus
RIVA	Ramus interventricularis anterior
RIVP	Ramus interventricularis posterior
RNS	Ramus nodi sinuatrialis
RNAV	Ramus nodi atrioventricularis
RVT	Rechtsversorgungstyp
SC	Sinus Coronarius
SD	Standardabweichung
TEE	Transösophageale Echokardiographie

Maßeinheiten:

µg	– Mikrogramm
cm	– Zentimeter
kg	– Kilogramm
mg	– Milligramm
mm	– Millimeter

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	6
2	METHODEN.....	7
2.1	ANATOMIE.....	7
2.1.1	ANATOMISCHE LAGEVERHÄLTNISSE.....	7
2.1.2	KORONARARTERIEN.....	8
2.1.3	VERSORGUNGSTYPEN.....	10
2.2	VERFAHREN ZUR PERFUSIONSKONTROLLE.....	10
2.2.1	TRANSÖSOPHAGEALE ECHOCARDIOGRAPHIE.....	10
2.2.2	KORONARANGIOGRAPHIE.....	13
2.3	STUDIENDESIGN.....	14
2.3.1	PATIENTENKOLLEKTIV.....	14
2.3.2	NARKOSE.....	15
2.3.3	MATERIAL.....	15
2.3.4	STUDIENPROTOKOLL.....	15
2.3.5	PUNKTE DER STUDIE.....	18
2.4	STATISTISCHE ANALYSE.....	18
3	ERGEBNISSE.....	20
3.1	DARSTELLBARKEIT PERFUSION PRÄ- & POSTOPERATIV.....	20
3.2	MESSUNG DER DIAMETER.....	23
3.2.1	MESSUNG VON RCX (PROXIMAL, IM VERLAUF, DISTAL).....	23
3.2.2	MESSUNG DES SINUS CORONARIUS (PROXIMAL & DISTAL).....	26
3.3	RÜCKSCHLÜSSE AUF DEN VERSORGUNGSTYP.....	28
3.4	WANDBEWEGUNGSSTÖRUNGEN.....	29
3.5	DETEKTION IATROGEN VERURSACHTER FLUSSMINDERUNGEN.....	29
4	DISKUSSION.....	34
5	ZUSAMMENFASSUNG.....	40
6	LITERATURVERZEICHNIS.....	41
7	DANKSAGUNG.....	43
8	ERKLÄRUNG ÜBER DIE EIGENSTÄNDIGE ABFASSUNG DER ARBEIT.....	44
9	LEBENS LAUF.....	45

1 Einleitung

Der Ramus Circumflexus (RCX) der linken Kranzarterie ist aufgrund seiner anatomischen Nähe zur Mitralklappe bei Mitralklappeneingriffen gefährdet, durch eine chirurgische Naht beim Fixieren eines Mitraringes bzw. einer künstlichen Mitralklappe iatrogen verschlossen oder komprimiert zu werden. Dies würde zu einer Minderversorgung der nachgeschalteten Areale – je nach Ausprägung – auch zum Infarkt führen. Dies ist eine bekannte Komplikation bei einer Mitralklappenrekonstruktion (MKR). Die frühzeitige Erkennung einer Ligatur des RCX noch während der Phase der Herz-Lungen-Maschine würde es ermöglichen, dies chirurgisch zu korrigieren, bevor eine irreversible Ischämie der nachfolgenden Myokardbezirke stattgefunden hat.

In dieser Studie soll geklärt werden, ob mittels Echokardiographie eine eindeutige Darstellung der Herzkranzgefäße bei Patienten, die sich einem Mitralklappeneingriff unterziehen, möglich ist und ob eine klare Unterscheidung des Sinus Coronarius (SC) vom RCX gelingt.

Ferner soll untersucht werden, ob ein Flussabriss in der RCX unmittelbar nach MKR – eventuell durch iatrogene Kompromittierung nach dem Einnähen des Mitraringes bzw. der Mitralklappe- erkannt werden kann.

Zuletzt soll geklärt werden, ob anhand des unterschiedlichen Kalibers der Gefäße je nach Versorgungstyp verlässliche Rückschlüsse auf den jeweiligen Versorgungstyp gezogen werden können.

2 Methoden

2.1 Anatomie

2.1.1 Anatomische Lageverhältnisse

Der RCX verläuft beim Linksversorgungstyp [LVT] bzw. kodominantem LVT näher am Annulus, als es beim Rechtsversorgungstyp [RVT] der Fall ist. Somit ist die Gefahr eines iatrogenen Verschlusses während einer MKR beim LVT wesentlich höher.

Die anatomischen Verhältnisse im besagten Areal werden in Abbildung 1 und Abbildung 2 aufgezeigt:

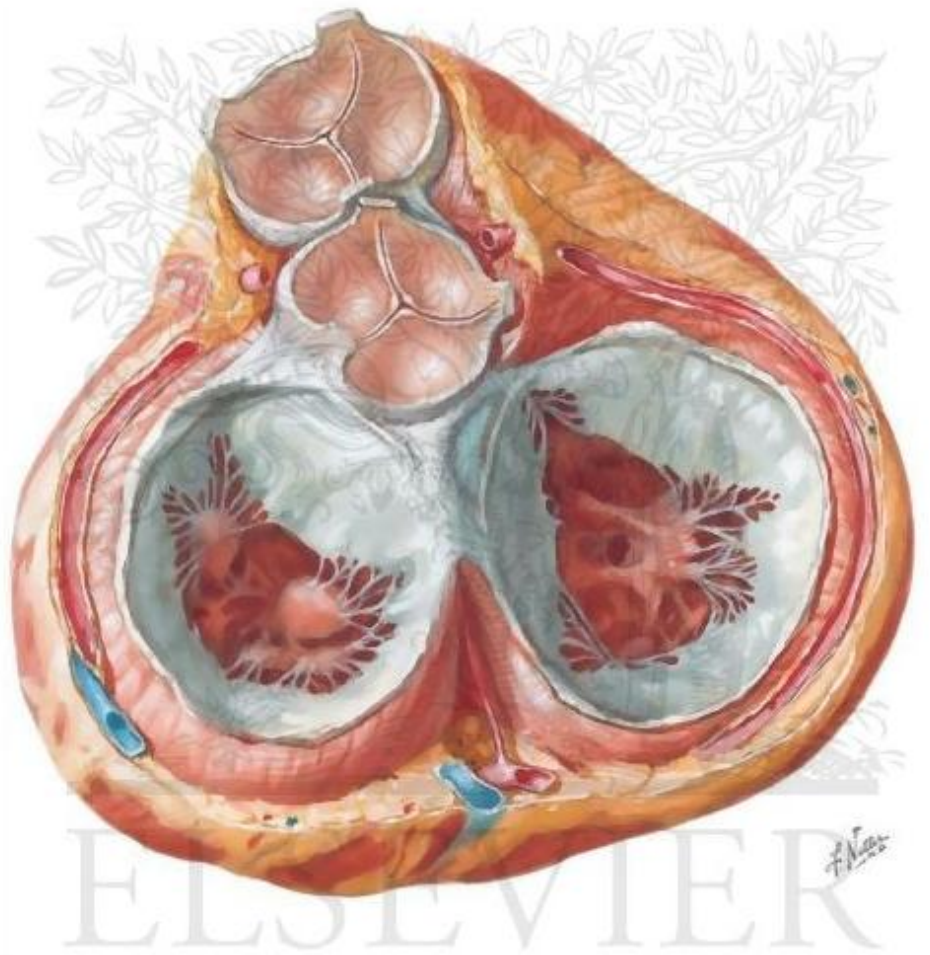


Abbildung 1: Anatomische Lagebeziehung des RCX zum Mitralklappenring (2).

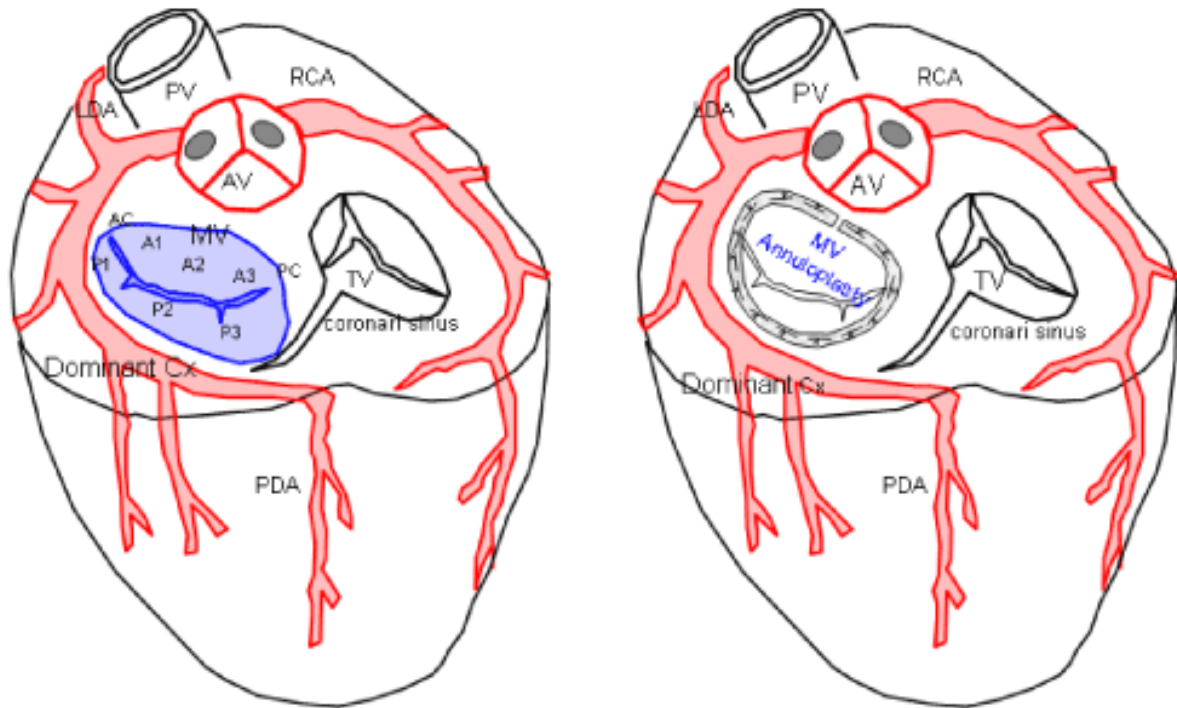


Abbildung 2: Die Arterie verläuft in unmittelbarer Nähe des hinteren Mitralklappenringes (Querschnitt) (3).

2.1.2 Koronararterien

Das Herz verfügt über reichlich herzeigene Gefäße, sogenannte Vasa privata, um seine mit hohem Energieverbrauch verbundene Arbeitsleistung zu ermöglichen. Dabei strömen etwa 10 % des Herzzeitvolumens während der Diastole durch die Koronarien. Die größeren Gefäße verlaufen in subepikardiales Fettgewebe eingebettet. Aus ihrer oberflächlichen Lage entlassen diese Arterien meist rechtwinklig in die Muskulatur abgehende Myokardäste. Diese verzweigen sich strauchförmig und gehen in ein dichtes Kapillargeflecht über. Die Versorgungsgebiete der einzelnen Gefäße lassen sich bis in den Bereich ihrer Kapillaren in Form einzelner Areale der Sektoren abgrenzen, wobei die Kapillaren zwar miteinander verzahnt sind, jedoch keine Verbindung miteinander aufnehmen. Es sind somit funktionelle Endarterien. Dies sind die:

■ Arteria coronaria sinistra (ACS):

Die Arteria coronaria sinistra (ACS) entspringt im Sinus aortae hinter der Valvula semilunaris sinistra. Sie gibt nach kurzem Verlauf zwischen Truncus pulmonalis und Auricula sinistra den

- Ramus interventricularis anterior [RIVA], der auch left anterior descendent [LAD] genannt wird, in den gleichnamigen Sulcus und den
- Ramus circumflexus (RCX) ab, der im Sulcus coronarius zur Facies pulmonalis des linken Ventrikels verläuft.

Sie versorgt damit im Wesentlichen

- den linken Vorhof
- den größten Teil des linken Ventrikels und
- die vorderen 2/3 des Septum interventriculare.

■ **A. coronaria dextra [ACD]:**

Die A. coronaria dextra (ACD) –die auch right coronary artery [RCA] genannt wird, entspringt im Sinus aortae hinter der Valvula semilunaris dextra, verläuft zwischen Truncus pulmonalis und Auricula dextra zum Sulcus und zieht in ihm auf die Dorsalseite. Ihr Endast erreicht als

- Ramus interventricularis posterior [RIVP] den gleichnamigen Sulcus. Schon sehr früh gibt sie den
- Ramus nodi sinuatrialis [RNS] ab.
- Auch der Ramus nodi atrioventricularis [RNAV] kann als einer ihrer Endäste angesehen werden.

Sie versorgt damit im Wesentlichen

- den rechten Vorhof,
- den größten Teil des rechten Ventrikels,
- das hintere 1/3 des Septum interventriculare und
- wesentliche Bestandteile des Erregungsbildungssystems.

2.1.3 Versorgungstypen

Wenn die linke Herzkranzarterie auch die Hinterwand und die Knoten mitversorgt, spricht man von einem *Linksversorgungstyp* (LVT), wohingegen man bei einer (Mit-)Versorgung der Vorderwand durch die rechte Koronararterie von einem *Rechtsversorgungstyp* (RVT) spricht. Der Normalfall wird als *Intermediärtyp* [IVT] bezeichnet (Abbildung 3).

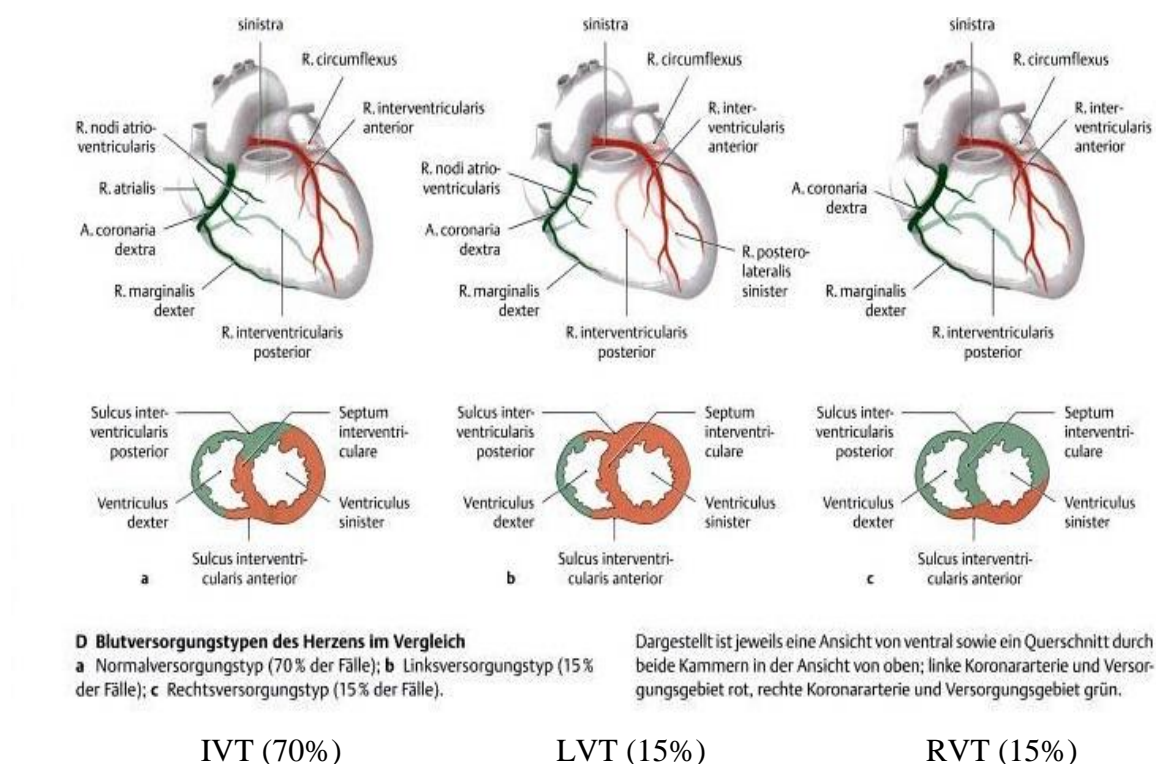


Abbildung 3: Versorgungstypen und ihre prozentuale Häufigkeit in der Bevölkerung (2, S. 115)

2.2 Verfahren zur Perfusionskontrolle

2.2.1 Transösophageale Echocardiographie

Die TEE ist ein bildgebendes Verfahren, mit dem Morphologie, Größe und Funktion des Herzens und seiner angrenzenden Strukturen dargestellt werden können. Der Schallkopf der TEE-Sonde ist auf ein flexibles Endoskop montiert. Er kann rotiert, ante- und retroflektiert sowie nach links und rechts angewinkelt werden. Der Schallkopf ist dabei sowohl Sender als auch als Empfänger für Ultraschallwellen. Die Schallenergie wird in elektrische Energie

umgewandelt, es entsteht eine elektrische Spannung, die auf einem Monitor bildlich darstellbar wird.

Die Sonde wird nach Intubation beim relaxierten Patienten ca. 30-35 cm ab Zahnreihe in den Oesophagus vorgeschoben und kommt hinter dem Herzen zum Liegen (Abbildung 4).

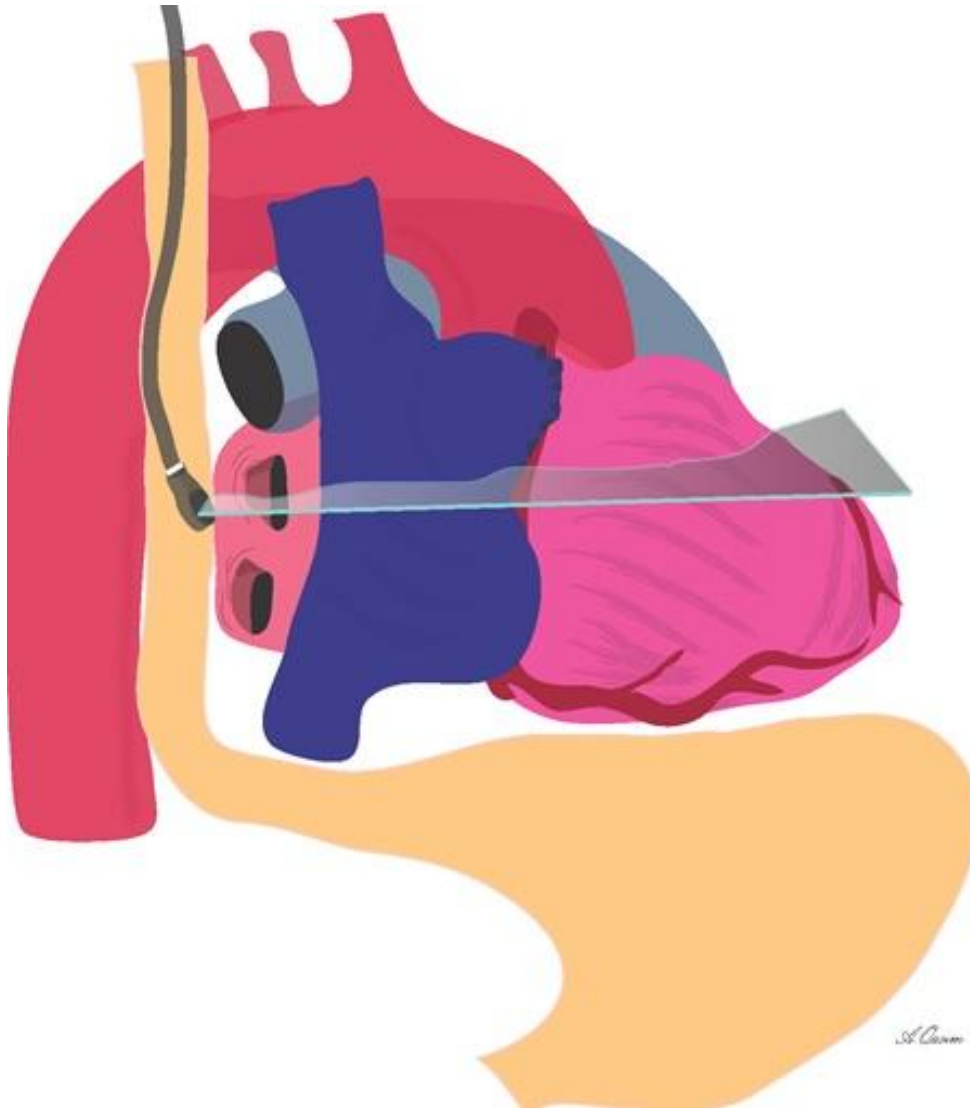
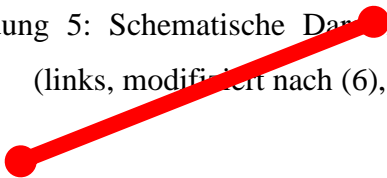


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Position der TEE-Sonde im mittleren Oesophagus (5)

Nach den Empfehlungen der amerikanischen Gesellschaft für Echokardiographie (ASE) und der amerikanischen Gesellschaft der Kardioanästhesie (SCA) sollten bei einer perioperativen TEE-Untersuchung bestimmte Standardeinstellungen vorgenommen werden (6).

Einer dieser Standardschnitte ist der modifizierte-mitt-ösophageale Längsachsenschnitt (ME AK LAX). In dieser Einstellung sind der linke Vorhof und die linke Kammer besonders gut darstellbar (Abbildung 5 und Abbildung 6). Diese Einstellung erreicht man in der Sondenposition im mittleren Ösophagus in einer Tiefe von etwa 30-35 cm von der Zahnreihe beim erwachsenen Menschen. Dabei muss der Schallkopf auf etwa 100° rotiert und die Sonde leicht nach links gedreht werden.

Abbildung 5: Schematische Darstellung der Sicht-„Schnittführung“ durch das Myokard (links, modifiziert nach (6), S. 870-884) und in 3-D-Darstellung (rechts) (7).



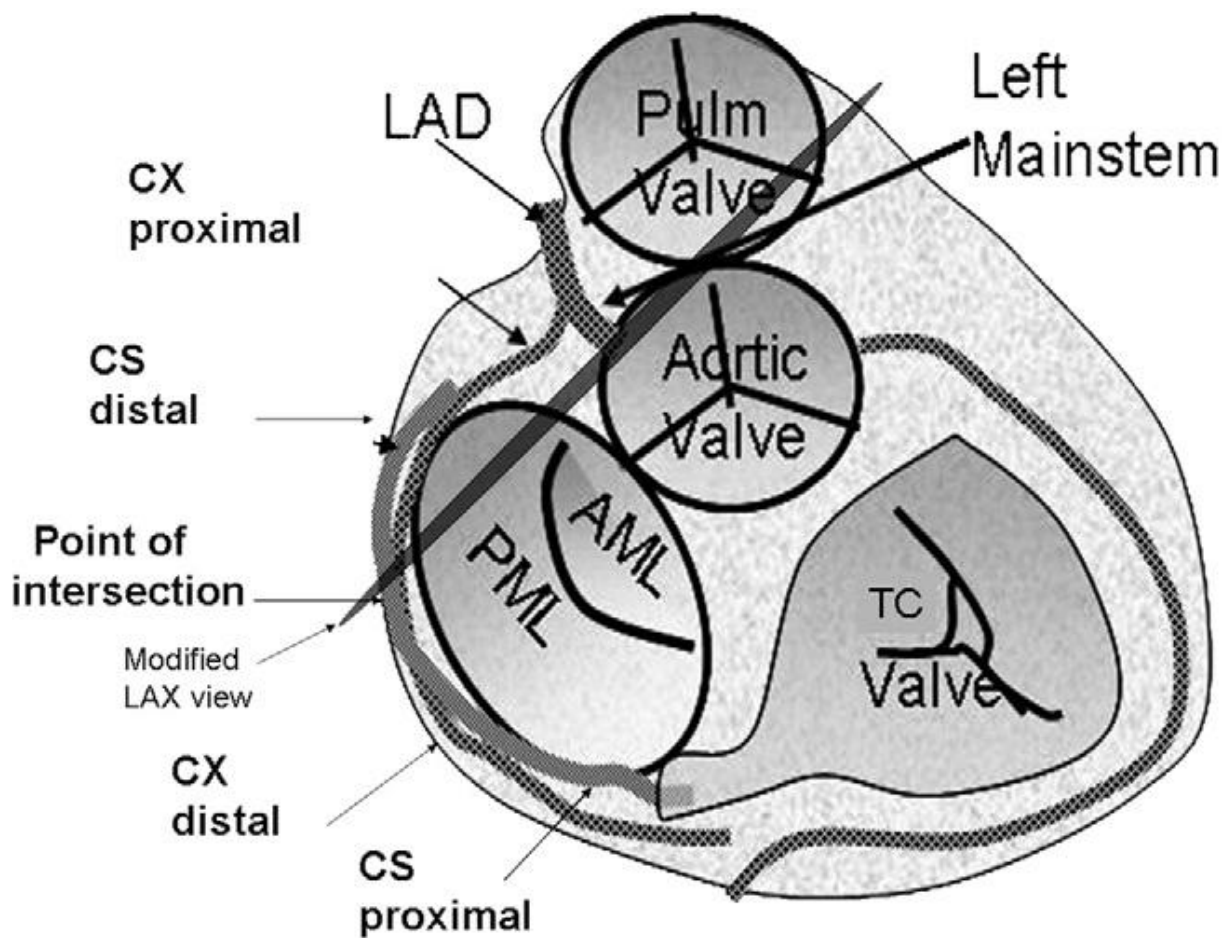


Abbildung 6: Schematische Darstellung der modifizierten mitt-ösophagealen Long Axis (LAX) Ansicht (1)

2.2.2 Koronarangiographie

Zunächst wird ein Katheter über eine Injektionsnadel in Seldingertechnik durch die Haut in die Arteria femoralis eingebracht und dann über die Aorta vorgeschoben und im bzw. vor dem Abgang des interessierenden Blutgefäßes positioniert. Vor Gabe des Kontrastmittels kann ein normales Bild (Leeraufnahme) von der untersuchten Körperregion angefertigt werden. Wird dann das Kontrastmittel über Katheter bzw. Nadel in das Gefäß gespritzt, werden davon in schneller Abfolge Aufnahmen angefertigt. Sollten diese Bilder in digitaler Form gespeichert werden, kann man die Leeraufnahme von den Angiographiebildern subtrahieren. Störende Bildelemente, die auf beiden Bildern vorhanden sind (z. B. Knochen), werden dadurch ausgeblendet, was die Auswertung der Aufnahmen erleichtert. (Digitale

Subtraktionsangiografie). Nun kann anhand der Bilder eine Aussage über den Versorgungstyp gemacht werden.

2.3 Studiendesign

2.3.1 Patientenkollektiv

In diese prospektiv klinische Studie wurden nach Zustimmung der Ethikkommission 110 Patienten aufgenommen, die sich einer elektiven chirurgischen Rekonstruktion der Mitralklappe unterzogen. 50 dieser Patienten waren weiblich, 60 männlich (Gutachten der Ethikkommission an der Medizinischen Fakultät der Universität Leipzig Nr. 066-2005). Das Durchschnittsalter betrug 57,1 Jahre (+/- 12,6 SD), das Körpergewicht 75,3 kg (+/-15,1kg SD) bei einer Körpergröße von 173,2 cm (+/-10,6 SD).

Die MKR wurde mittels Minithorakotomie rechtslateral, sowie durch Kanülierung der Arteria femoralis für den kardiopulmonalen Bypass durchgeführt.

Als Rekonstruktionsverfahren wurde entweder eine Ring-Annuloplastie mit oder ohne Chordae-Ersatz angewandt.

Folgende Einschlusskriterien wurden definiert:

- Patienten, die sich einem minimalinvasiven Mitralklappeneingriff unterziehen und bei denen somit routinemäßig eine TEE-Untersuchung im Rahmen des Eingriffes erfolgt.

Als Ausschlusskriterien dienen:

- Patientenalter jünger als 18 Jahre
- Schwangerschaft
- Patienten mit bekannten Tumoren, Gefäßmissbildungen, Ulcerationen oder Engstellen im Ösophagus oder Magen, bei welchen eine transösophageale Ultraschalluntersuchung mit erhöhtem Risiko verbunden wäre

2.3.2 Narkose

Alle Patienten erhielten zur Prämedikation am Vorabend Dikaliumclorazepat 0,3-0,5 mg/kg per os und morgens 45 bis 60 Minuten vor Beginn der Operation 3,75 bis 7,5 mg Midazolam per os. Die präoperative, kardiale Medikation wurde bis zum OP-Tag fortgeführt.

Nach einer üblichen Narkoseeinleitung mit 0,6µg/kg Sufentanil und 1,5 mg/kg Propofol und Relaxation mit 0,1 mg/kg Pancuronium erfolgten die Intubation und Beatmung mit einem O₂/Luft-Gemisch (F_iO₂=0,5). Als Narkosegerät diente ein SULLA 808V (Fa. DRÄGER). Das Atemzugvolumen wurde mit 8 ml/kg Körpergewicht gewählt und ein Atemminutenvolumen so eingestellt, dass das endexpiratorische CO₂ im Bereich zwischen 30 und 35 mmHg lag. Zum Ausgleich des Volumendefizites infolge der präoperativen Nahrungskarenz und Diuretika-Therapie wurde während beziehungsweise nach der Narkoseeinleitung Elektrolytlösung E 153® infundiert. Die Narkose wurde mit Propofol 3 mg/kg/h und Sufentanil 0,4 µg/kg/h als Dauerinfusion fortgeführt.

2.3.3 Material

Die Echokardiographie wurde mit multiplaner TEE-Sonde T6210 4-7 MHz und dem Gerät SONOS 5500 (Fa. PHILIPS, Niederlande) durchgeführt. Als Überwachungsmonitor zur Darstellung des Blutdruckes und des EKG diente der SC9000 (Fa. SIEMENS). Das EKG-Signal vom Überwachungsmonitor wurde mit einem Verbindungskabel in das TEE-Gerät eingespeist.

Zur Auswertung der echokardiographischen Aufnahmen wurde das System EnConcert® (Fa. AGILENT) verwendet.

2.3.4 Studienprotokoll

Als Bestandteil der normalen klinischen Routine bei MKR wurden alle Patienten mittels TEE überwacht. Die TEE-Sonde (IE 33, Sonos 5500; Philips, Amsterdam, NL) wurde sofort nach der Narkoseeinleitung ca. 30-35cm ab Zahnreihe im mittleren Oesophagus platziert. Neben den durch die American Society of Echocardiography [ASE] und der Richtlinien der Society

of cardiovascular Anaesthesiologists [SCA] empfohlenen Schnitten stellten wir ferner den RCX dar. Zunächst wurde die Aortenklappe in Längsachse eingestellt und der Schallkopf zwischen 90 und 130 Grad rotiert, sodass der Sinus von Valsalva im modifizierten Längsachsenschnitt zusammen mit dem Ursprung der linken Koronararterie zu sehen war. Anschließend wurde die Sonde langsam nach links gedreht, um die Koronararterie im Verlauf zu verfolgen und den Abgang des RCX zu detektieren.

Im Regelfall teilt sich die LMCA in den RCX und die LAD. Der RCX geht nahezu rechtwinklig zur linken Seite ab, die LAD zieht mehr oder weniger gerade abwärts (Abbildung 7).

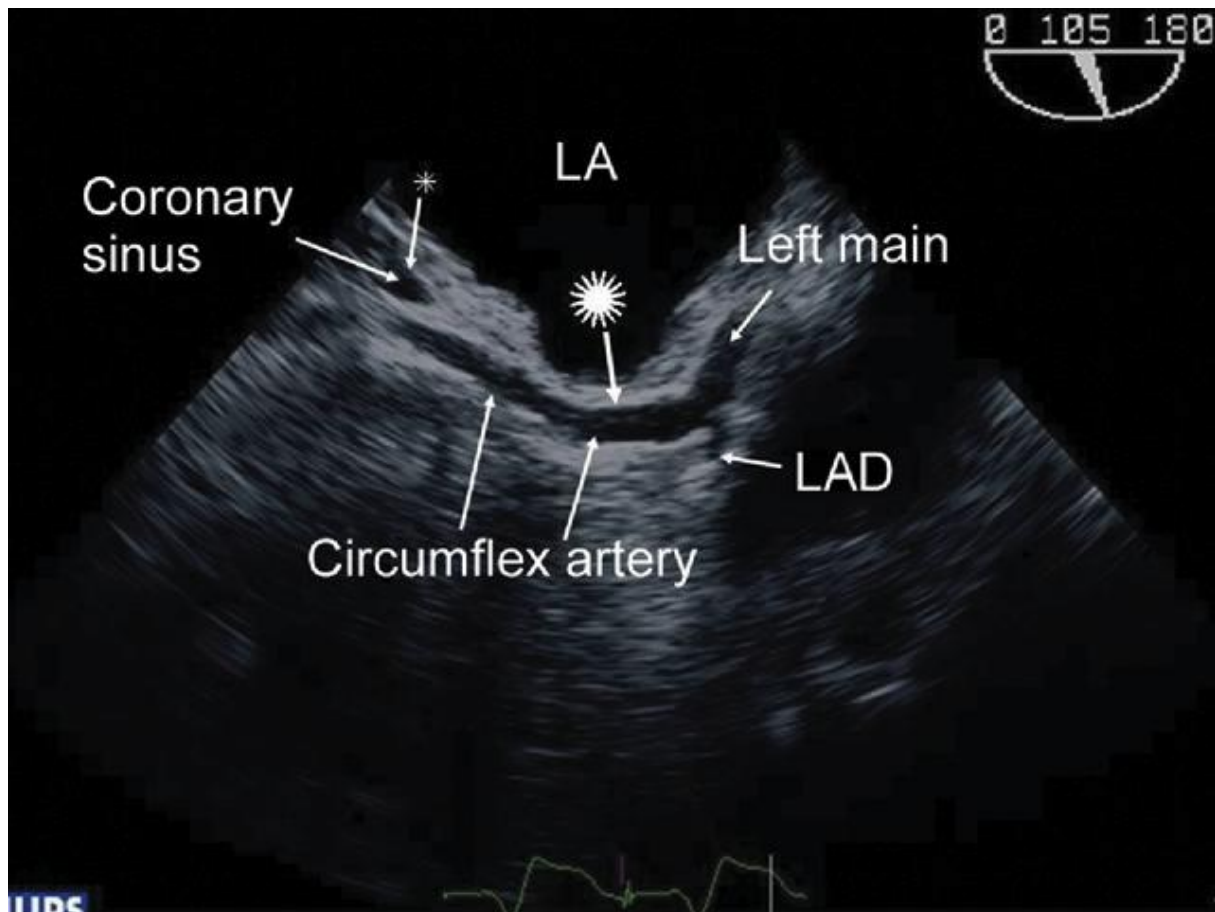


Abbildung 7: Detektion des RCX

Die Untersuchung wurde zunächst im 2D-Modus, danach mit Farbdoppler in verschiedenen Nyquist-Limit-Einstellungen durchgeführt. Um eine Turbulenz über der Mitralklappe zu erkennen, wurde ein Nyquist-Limit zwischen 50 und 60 cm/s eingestellt und anschließend feinadjustiert, bis eine optimale Darstellbarkeit der Koronarperfusion gewährleistet war. Zur differenzierten Darstellung der Perfusion wurde der RCX in drei Sektionen aufgeteilt:

Sektion 1 vom Ursprung der LMCA bis zum Ursprung des RCX,
Sektion 2 vom Ursprung des RCX bis zur Kreuzungsstelle von RCX und Sinus,
Sektion 3 von der Kreuzungsstelle RCX/Sinus bis zum entferntest darstellbaren Anteil der RCX.

Alle Patienten unterzogen sich präoperativ einer CA, bei der unter anderem der Versorgungstyp bestimmt wurde.

Ein intraoperatives TEE wurde genutzt, um die angiographischen Erkenntnisse in Bezug auf den Versorgungstyp zu bestätigen. Der Untersucher wurde bzgl. der angiographischen Daten verblindet.

Zusätzlich maßen wir den Abstand zwischen dem RCX und dem Mitralklappenring im Bereich der anterolateralen Kommissur, da dies der Punkt mit dem geringsten Abstand zwischen beiden genannten Strukturen darstellt und daher am meisten gefährdet ist, beim Einnähen des Annuloplastierings bzw. der Klappe durch eine Naht kompromittiert zu werden. Abschließend wurde unmittelbar postoperativ mittels TEE eine Darstellung des linken Ventrikels zur Beurteilung der Myokardmobilität und zur Detektion von Wandbewegungsstörungen durchgeführt. Dazu wurde das Schnittbild mittlerer Ösophagus eingestellt (Abbildung 8 und Abbildung 9) und die Myokardbewegung im Verlauf beobachtet:

Abbildung 8: 2-D-Darstellung der „Schnittführung“ durch das Myokard (links, modifiziert nach (6), S. 870-884) und in 3-D-Darstellung (rechts) (7)



Abbildung 9: Ansicht der Darstellung im TEE (links) und schematische Darstellung (rechts), modifiziert nach (6), S. 870-884)

Ein perioperativer Myokardinfarkt wurde als eine signifikante Zunahme der CKMB (10-fache Erhöhung über Normalbereich) oder neu aufgetretene Q-Wellen im EKG definiert.

Eine postoperative CA wurde bei den Patienten mit fraglichem Myokardinfarkt oder neu aufgetretenen EKG-Veränderungen durchgeführt.

2.3.5 Punkte der Studie

Die vorliegende Arbeit soll folgende Fragen beantworten:

- Kann mittels TEE die Perfusion der RCX prä-, intra- und postoperativ ausreichend gut dargestellt werden?
- Kann mittels TEE minimalinvasiv der Lumendurchmesser der Gefäße vermessen werden und sind RCX und SC gut voneinander abzugrenzen?
- Können anhand dieser ausgemessenen Durchmesser verlässliche Rückschlüsse auf den Versorgungstyp gemacht werden? Wenn isoliert beim LVT aufgrund der anatomischen Verhältnisse die LAD und RCX besonders ausgeprägt und die Abnahme des Durchmessers des RCX bzw. die Zunahme des Durchmessers des SC besonders groß wäre, wäre dies ein verlässlicher Rückschluss auf den Versorgungstyp, was sonst nur mittels CA mit Kontrastmittel invasiv möglich ist?
- Können perioperativ – evtl. iatrogen verursacht – aufgetretene Wandbewegungsstörungen mittels TEE diagnostiziert werden?

2.4 Statistische Analyse

Die Datensammlung erfolgte mit dem Programm Microsoft® Excel 2000.

Die statistische Prüfung erfolgte mit dem Computerprogramm SPSS für Windows®, Version 15.0 [Fa. SPSS Inc.]. Alle Werte sind als Durchschnitt +- Standardabweichung im gesamten Verlauf dargestellt. Ein signifikanter Unterschied wurde bei einem p-Wert kleiner 0,05 angenommen.

Die statistische Analyse wurde unter Mitwirkung des Instituts für Medizinische Informatik, Statistik und Epidemiologie der Medizinischen Fakultät der Universität Leipzig durchgeführt.

3 Ergebnisse

Um den Stellenwert einer routinemäßig intraoperativ durchgeführten TEE-Untersuchung der RCX vor und nach MKR hervorzuheben, wurde diese prospektive Studie durchgeführt.

Ziele der Studie war es, mittels TEE die bestmögliche Darstellung der RCX zu finden, und zu untersuchen, ob eine Unterscheidung zwischen RCX und SC möglich ist, ob ein Flussabrisse in der RCX unmittelbar nach MKR erkannt werden kann und ob durch Ausmessen der Kaliberstärken der RCX und SC Rückschlüsse auf den Versorgungstyp gemacht werden können.

Nach Genehmigung durch die Ethikkommission wurden 110 Patienten (50 Frauen, 60 Männer) im Zeitraum von November 2007 bis April 2008, welche sich einer minimalinvasiven MKR unterzogen, in die prospektive Studie einbezogen. Die MKR wurde mittels rechter Minithorakotomie und femoraler Kanülierung zum kardiopulmonalen Bypass durchgeführt. Alle Patienten erhielten einen Annuloplastiering. Bei einem Patienten wurden zusätzliche künstliche Sehnenfäden implantiert und bei einem anderen Patienten erfolgte die Resektion des Prolaps einer Resektion.

Bis auf drei durchliefen alle Patienten die MKR ohne klinische Anzeichen einer RCX-Verletzung. Alle Patienten hatten eine unauffällige postoperative Phase ohne hämodynamische Instabilität oder klinische Anzeichen eines perioperativen Myokardinfarkts.

3.1 Darstellbarkeit Perfusion prä- & postoperativ

Nach der Einleitung wurde präoperativ mit den unter 2.3.4 aufgeführten Einstellungen zunächst der ME AK LAX eingestellt (Abbildung 10).

Abbildung 10: Modifizierter ME AK LAX als Ausgangsposition

Anschließend wurde die Sonde um die eigene Achse rotiert und die Darstellung der LAD und die Abgangsstelle der RCX vorgenommen (Abbildung 11).



Abbildung 11: Modifizierter ME AK LAX mit Querschnitt durch Atrium und Ventrikel mit Darstellung der LAD und des proximalen RCX

Durch Einschalten des Dopplers konnte eine Kontrolle der Perfusion erfolgen (Abbildung 12).

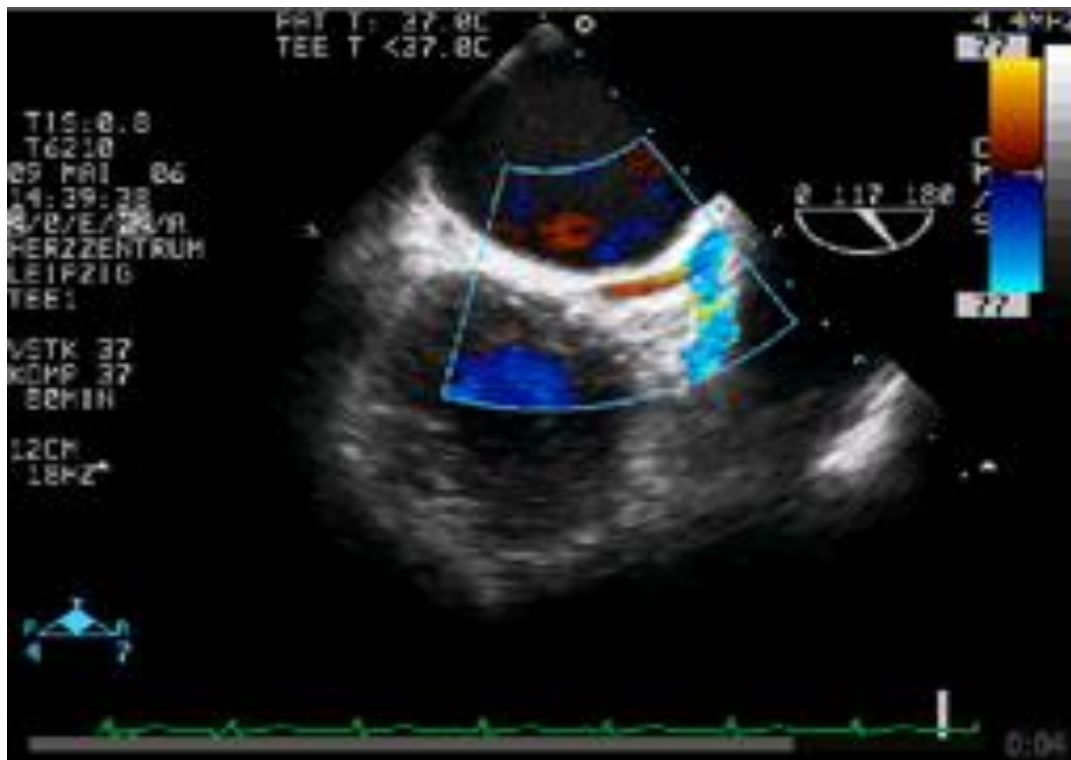


Abbildung 12: Leichte Rotation der Sonde gegen den Uhrzeigersinn ausgehend vom modifizierten LAX Blick der Aortenklappe mit Querschnitt durch linkes Atrium und linken Ventrikel mit Darstellung des LAD und RCX (Sektion 1) zu Beginn der diastolischen Perfusion mit Doppler

Mittels Rotation der Sonde konnte bei eingeschaltetem Doppler die Perfusion des RCX im Verlauf beobachtet werden. Dies wurde sowohl prä- als auch postoperativ durchgeführt. Für die qualitative Begutachtung der Durchblutung des RCX wurde diese in drei Abschnitte eingeteilt:

Sektion 1 umfasste den Ursprung der LAD bis zur Abgangsregion des RCX,

Sektion 2 den Abgang des RCX bis zur Kreuzungsstelle mit dem SC,

Sektion 3 den Bereich ab der arteriell/venösen Kreuzungsstelle bis zum weitest entfernt darstellbaren Teil des RCX.

Der Verlauf des RCX konnte proximal bei 109 Patienten (99 %), in Höhe der Kreuzungsstelle mit dem SC bei 99 Patienten (90 %), sowie distal bei 95 Patienten (86 %) verfolgt und gemessen werden.

Die Qualität der Darstellung wurde in vier Klassen eingeteilt:

- 0 = kein Gefäß oder Fluss in einer der 3 Sektionen darstellbar
- 1 = Fluss in einer der drei Sektionen gut darstellbar
- 2 = Fluss in zwei der drei Sektionen gut darstellbar
- 3 = Fluss in allen drei Sektionen gut darstellbar

Hieraus ergab sich die in Tabelle 1 dargestellte Erhebung:

Tabelle 1: Qualität der Darstellung vorher und nachher

Klasse	vorher	nachher
3	70	69
2	14	19
1	10	7
0	1	7

3.2 Messung der Diameter

3.2.1 Messung von RCX (proximal, im Verlauf, distal)

Der Durchmesser des RCX wurde proximal, d. h. unmittelbar nach dem Abgang der LAD sowie soweit wie möglich distal der Kreuzungsstelle mit dem CS gemessen. Hierzu wurde der Abstand von der einen inneren Gefäßwand (Abbildung 13, kleiner blauer Punkt) mit der gegenüberliegenden äußeren Gefäßwand (Abbildung 13, großer blauer Punkt) ausgemessen.

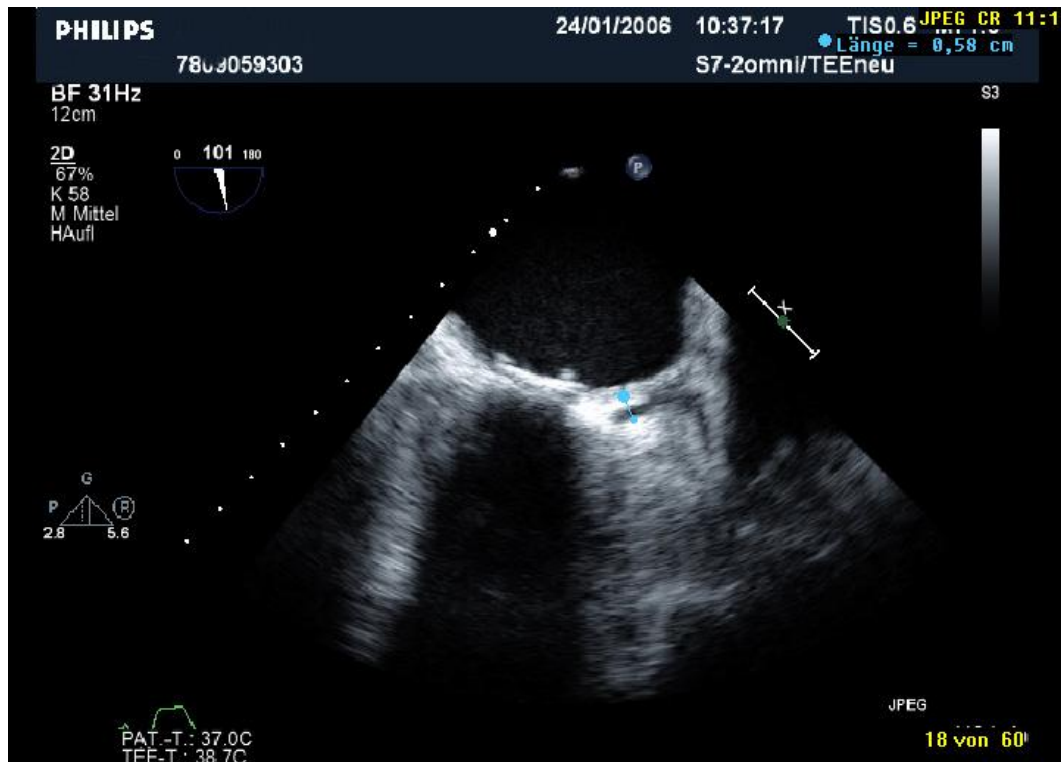


Abbildung 13: Querschnitt durch Atrium und Ventrikel mit Darstellung des LAD und CX, Messung Diameter CX proximal

Die Sonde wurde weiter gedreht, um den RCX im Verlauf zu beobachten und in Höhe der Überkreuzung mit dem SC wurde der Diameter des RCX erneut bestimmt. Hierzu wurde der Abstand des Innenlumens der einen Seite (Abbildung 14, großer grüner Punkt) mit dem Außenlumen der gegenüberliegenden Gefäßwand (Abbildung 14, kleines grünes Kreuz) bestimmt. Anschließend wurde der Abstand von Innenwand RCX bis zum linken Atrium bestimmt. Hierzu wurde der Abstand der Gefäßinnenwand der RCX (Abbildung 14, großes blaues Kreuz) zum Atrium (Abbildung 14, kleiner blauer Punkt) vermessen.



Abbildung 14: RCX an der Kreuzungsstelle mit dem Sinus. Messung Abstand RCX – Atrium (blaue Messpunkte), Durchmesser RCX (grüne Messpunkte)

Abschließend wurde die Sonde weiter gedreht, um den RCX im Verlauf zu beobachten und in Höhe der Überkreuzung mit dem SC wurde der Diameter des RCX ein letztes Mal bestimmt (Abbildung 15, blaue Messung).



Abbildung 15: Messung des Durchmessers distaler RCX (blaue Messpunkte)

3.2.2 Messung des Sinus coronarius (proximal & distal)

Wie beim RCX wurde auch beim SC der Durchmesser zunächst distal (Sektion 1) bestimmt. Hierzu wurde die Sonde auf einen Bereich von 115-120 Grad rotiert und der Abstand des Innenlumens der einen Seite (Abbildung 16, großer blauer Punkt) mit dem Außenlumen der gegenüberliegenden Gefäßwand (Abbildung 16, kleiner blauer Punkt) bestimmt.

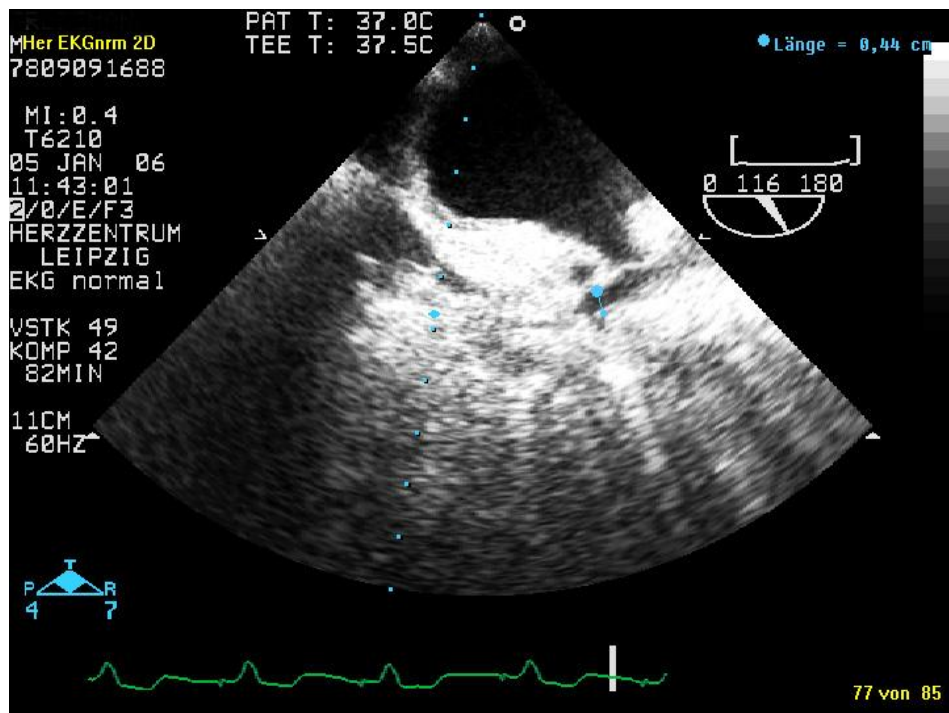


Abbildung 16: Messung Sinus distal

Zur Darstellung des proximalen SC wurde wieder auf 105-110 Grad zurückrotiert und im selben Verfahren der Durchmesser in Sektion 3 bestimmt (Abbildung 17, blaue Messung).

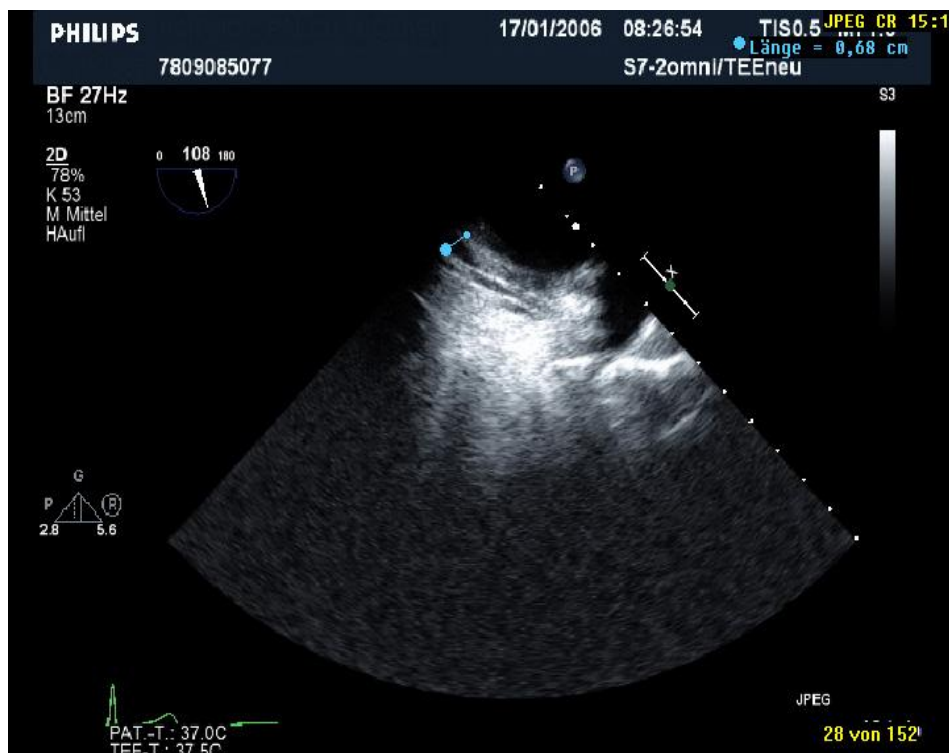


Abbildung 17: Messung SC proximal

Der Durchmesser des RCX nahm im Durchschnitt um 29 % von proximal nach distal ab (4,1 +- 0,8mm auf 2,9 +- 0,7mm). Im Gegensatz dazu nahm der Durchmesser des SC im Schnitt um 72 % zu (3,9 +-0,8mm auf 6,6 +-1,4mm).

Der RCX konnte durch die sich im Verlauf gegensätzlich verhaltenden Durchmesser gut vom SC unterschieden werden. Der Durchmesser des RCX nimmt von proximal nach distal ab, der des SC zu (Tabelle 2).

Tabelle 2: Durchmesser (mm +-SD) RCX und CS im Verlauf bei den unterschiedlichen Versorgungstypen

	CX prox.	CX Kreuzung	CX distal	Abnahme (%)	CS prox	CS distal	Zunahme (%)
Gesamt	4,1 +- 0,8	3,4 +- 0,8	2,9 +- 0,7	28,9 +- 13,0	6,6 +- 1,4	3,9 +- 0,8	72,2 +- 55,3
RVT	3,9 +- 0,8	3,4 +- 0,9	2,8 +- 0,8	27,9 +- 12,7	6,6 +- 1,4	3,8 +- 0,9	86,3 +- 70,8
IVT	4,1 +- 0,7	3,5 +- 0,9	2,8 +- 0,7	31,4 +- 11,9	6,8 +- 1,6	4,1 +- 0,7	68,2+- 55,7
LVT	5,0 +- 0,6	4,0 +- 0,8	3,6 +- 0,7	28,0 +- 13,6	6,5 +- 1,6	4,1 +- 0,8	60,9 +- 34,5

Der Unterschied zwischen dem absoluten Durchmesser des proximalen RCX und distalem SC betrug lediglich nicht signifikante 5 %. Hinter der Kreuzungsstelle SC und RCX war der Unterschied jedoch deutlich (44 %), sodass im Verlauf beider Gefäße eine eindeutige Zuordnung erfolgen konnte.

3.3 Rückschlüsse auf den Versorgungstyp

Die CA zeigte, dass 49 % der Patienten RVT, 38 % IVT und 13 % LVT sind. Ferner liegt das 95%-Konfidenzintervall für den Durchmesser der proximalen RCX bei 4,5-5,6 mm für den LVT, hingegen nur 3,8-4,2 mm für den RVT und IVT ($p < 0,01$). Distal misst die RCX 3,0-4,2 mm für den LVT und nur 2,6-3,0 mm für den RVT und IVT ($p > 0,07$).

Der durchschnittliche Abstand zwischen RCX und Mitralannulus im Bereich der anterolateralen Kommissur beträgt im Schnitt 3,1 +- 1,3 mm SD und reichte von 1,1-8,1mm. Die Unterschiede korrelierten mit dem Versorgungstyp. So betrug dieser beim LVT 3,4 +-1,2 mm, beim IVT 3,0 +- 1,2 mm und 2,8 +- 1,3 mm beim RVT.

Unserer Erfahrung nach lässt sich der RCX am besten darstellen, indem man die Aortenklappe im modifizierten mitt-ösophagealen Längsachsenschnitt einstellt und den Transducer auf 110 Grad (+/- 20) rotiert. Das durchschnittliche Nyquist-Limit zur besten Perfusionsdarstellung mit den geringsten Störeffekten sollte bei 23 +/- 17cm/s mit einer durchschnittlichen Bildrate von 13,8 +/- 13,6 Bilder/s eingestellt werden.

3.4 Wandbewegungsstörungen

Die Aufnahmen konnten dazu verwendet werden (Abbildung 18 und Abbildung 19), um exakt zu überprüfen, ob Hypo- oder Akinesien in einzelnen Ventrikelbereichen – bedingt durch Malperfusion – neu aufgetreten waren.

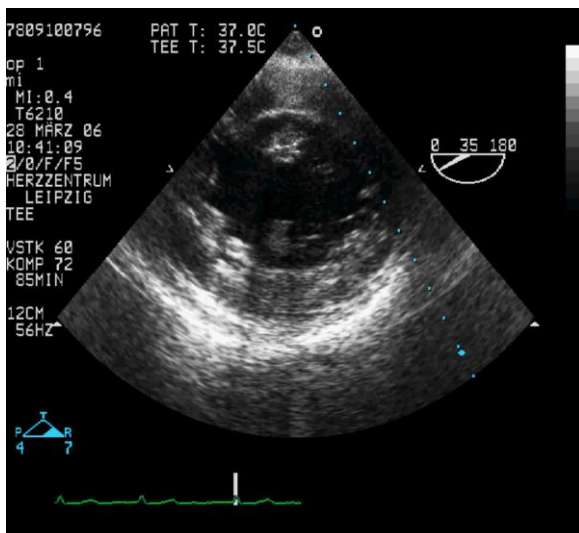


Abbildung 18: Myokard in der Diastole

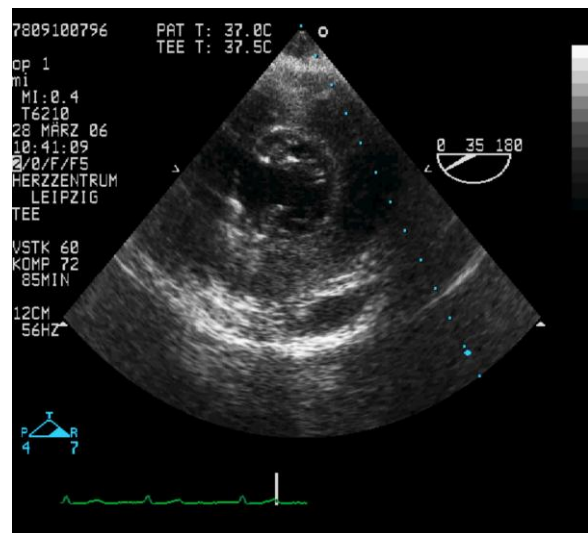


Abbildung 19: Myokard in der Systole

3.5 Detektion iatrogen verursachter Flussminderungen

Drei der 110 Patienten (2,7 %) hatten eine perioperativ iatrogen verursachte Flussminderung im RCX nach MKR. Bei diesen wurde postoperativ entweder kein Fluss (RCX-Obstruktion) oder eine deutliche Flussminderung (RCX-Stenose) postoperativ festgestellt.

Patient 1 zeigte nach MKR in den Ableitungen II, II, aVF deutliche ST-Hebungen und in der Echokardiographie neu aufgetretene Wandbewegungsstörungen im Bereich der Hinterwand. Die Erkenntnisse wurden unmittelbar an den Operateur weitergegeben und es wurde entschieden, den Patienten vom kardiopulmonalen Bypass [CPB] zu entwöhnen. Der Patient

war zwar ohne Katecholamine hämodynamisch stabil, die EKG-Veränderungen persistierten jedoch. In der unmittelbar durchgeführten Koronarangiographie bestätigte sich der im TEE vermutete Verdacht einer neu aufgetretenen RCX-Stenose. Der Patient wurde umgehend chirurgisch revidiert, indem vier Nähte am Annulus in der P1-Region gelöst und oberflächlicher platziert wurden. Nach 30 Minuten Reperfusionzeit waren nur noch minimale ST-Veränderungen bei gutem Fluss im RCX mittels TEE zu verzeichnen.

Bei Patient 2 zeigte sich nach MKR und nach Rücknahme des CPB lediglich eine Flussminderung im RCX bei hämodynamisch stabilem Kreislauf und ohne jegliche Komplikationen oder Katecholamine. Die echokardiographischen Befunde wurden mit der Intensivstation besprochen. Sechs Stunden nach dem Eingriff wurde der Patient plötzlich hämodynamisch instabil und katecholaminpflichtig. Die zügig durchgeführte Koronarangiographie zeigte eine Okklusion des distalen RCX. Nach Einbringen eines Stents zeigten sich gute Flusswerte.

Bei Patient 3 schlugen mehrere Versuche der Rücknahme vom CPB nach MKR fehl. Die TEE-Untersuchung präoperativ zeigte einen guten Fluss im RCX und eine abnorm verlaufende Aufteilung dieser in einen zierlich auslaufenden RCX und eine kräftige abnorm abzweigende Arterie (Abbildung 20 und Abbildung 21).

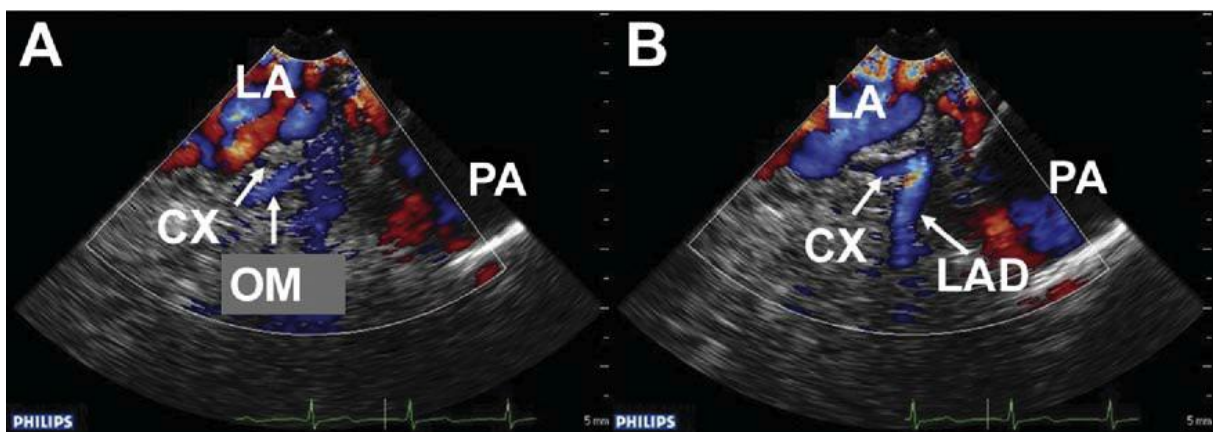


Abbildung 20: Präoperative Aufnahme Patient 3. CX = RCX, PA= Pulmonalarterie, LAD = Left anterior descending, OM = abnorme Arterie

Die TEE-Aufnahmen korrespondierten gut mit dem präoperativ durchgeführten Angiogramm (Abbildung 20 und Abbildung 21).

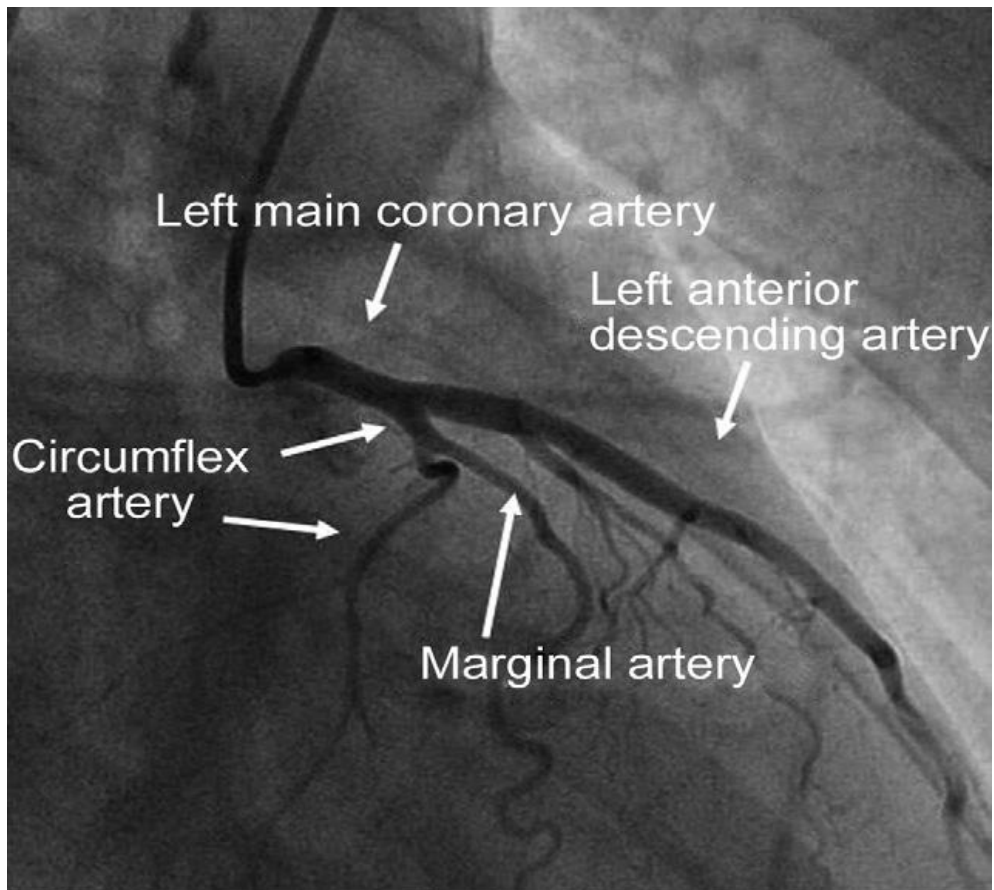


Abbildung 21: Präoperatives Angiogramm Patient 3

Postoperativ war ein Flussabrisse im RCX in Kombination mit einer Flussminderung in der LAD und der angrenzenden abnormen Arterie festzustellen (Abbildung 22).

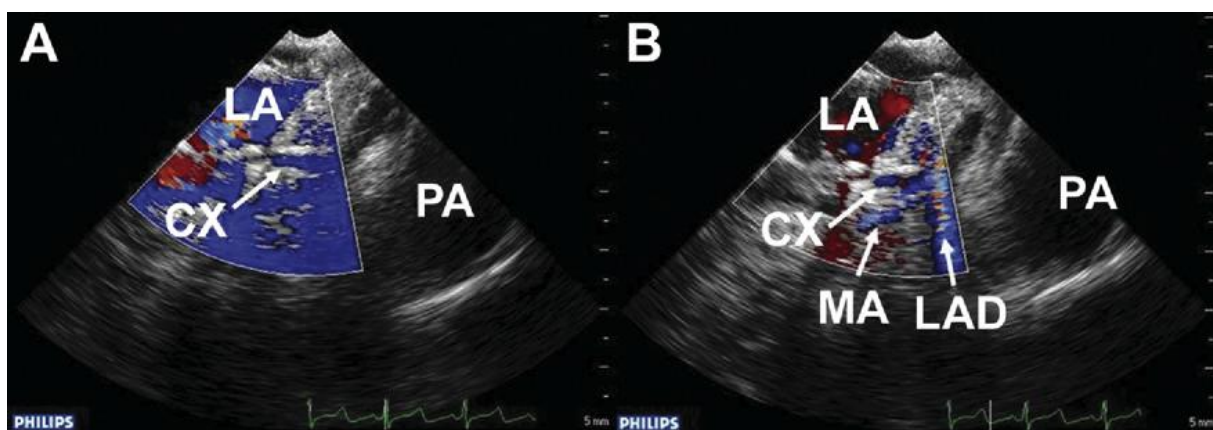


Abbildung 22: Aufnahme Patient 3 unmittelbar nach MKR mit Flussminderung in RCX und LAD. LA = linkes Atrium; CX = RCX; PA = Pulmonalarterie; LAD = Left anterior descendente; MA = abnorme Arterie

Ferner war eine Dyskinesie im Bereich der Hinterwand mit gering ausgeprägten ST-Veränderungen zu sehen. Außerdem wurde Luft im linken Ventrikel erkannt, sodass der Patient für 30 Minuten reperfundiert werden musste.

Ein erneuter Versuch des Abgangs vom CPB blieb ebenfalls erfolglos, sodass ein kompletter Verschluss des RCX mit dem Chirurgen diskutiert wurde. Die Annahme war, dass der Annuloplastierung (Carpentiert-Edwards Physio, 34 mm, Edwards Lifesciences, Irvine, USA) vielleicht für diesen Patienten zu groß war. Daher wurde der Ring entfernt und ein kleinerer Annuloplastierung (30 mm) ausgewählt, welcher dann besonders in der P1-Region oberflächlicher mit Nähten fixiert wurde. Anschließend gelang es problemlos, den CPB vom Patienten zu entfernen. Im TEE zeigte sich ein deutlicher Fluss im RCX ohne Einschränkungen nach Re-MKR (Abbildung 23)

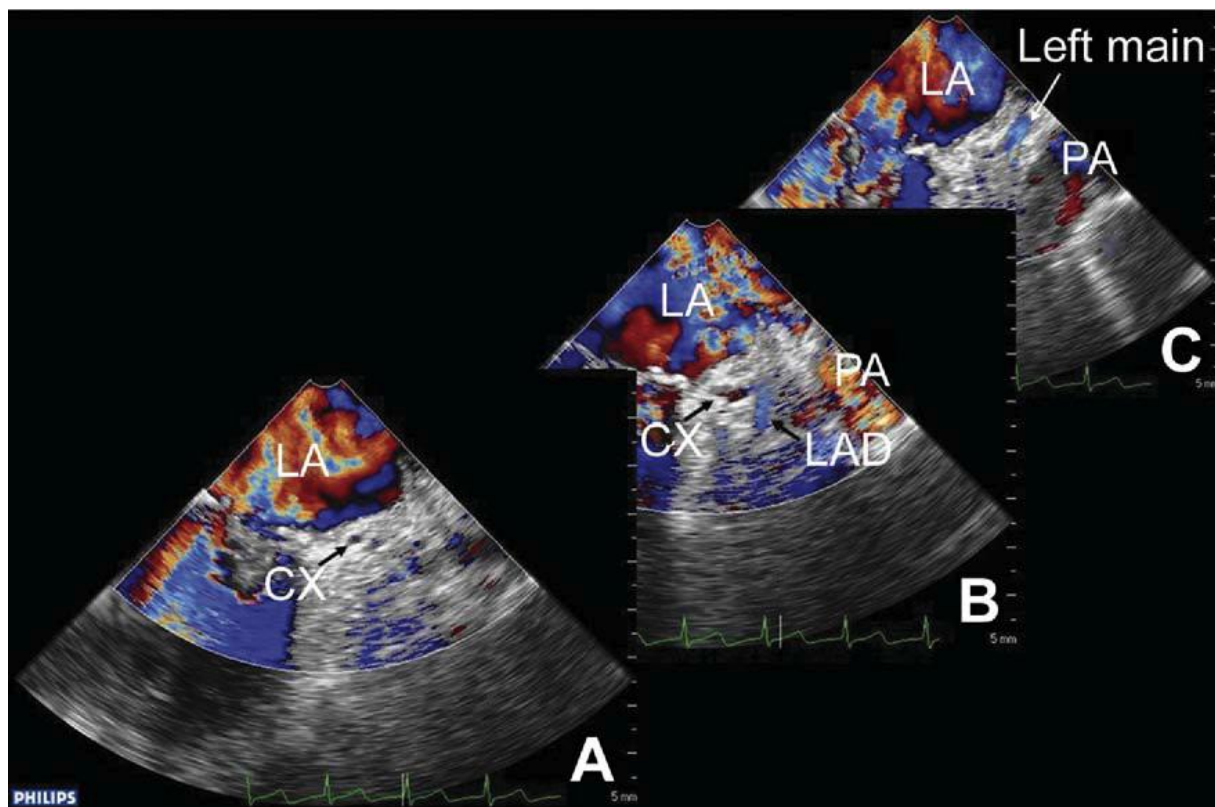


Abbildung 23: Aufnahme Patient 3 nach Re-MKR, LA = linkes Atrium; CX = RCX; PA = Pulmonalarterie; LAD = Left anterior descendent; Left Main = LMCA

Ergänzend sei erwähnt, dass der Durchmesser des proximalen RCX prä- und postoperativ gleich war, hingegen während der Ischämie aufgrund von Rückstau im Gefäß eine Zunahme des Durchmessers zu verzeichnen war (Abbildung 20 und Abbildung 22).

Alle drei Patienten hatten einen unkomplizierten postoperativen Verlauf und konnten am 10. Tag ohne klinische Anzeichen einer myokardialen Schädigung oder Reduktion der Ejektionsfraktion in der Echokardiographie entlassen werden.

4 Diskussion

Bedingt durch Fortschritte in Bezug auf chirurgische Techniken hat die Anzahl an MKR in jüngster Zeit stark zugenommen (8). Eine mögliche Komplikation bei diesem Eingriff ist ein verminderter oder gar unterbrochener Fluss im RCX, welcher bei etwa 1,8 % aller Operationen auftritt (1). Der verminderte Fluss im RCX, bedingt durch Ligatur während MKR bzw. -ersatz ist eine seltene, aber bekannte Komplikation, welche nicht sicher vermieden werden kann (7, 8). Koronare Insuffizienz kann zum einen die Folge einer Ligatur, eher aber durch Komprimierung der Gefäße durch eine zu straff eingebrachte Ringstruktur sein. Wenn dies nicht rechtzeitig bemerkt wird, resultiert ein Myokardinfarkt. Dies kommt häufiger bei den Patienten vor, deren RCX-Arterie anatomisch näher am natürlichen Mitralklappenring verläuft. Ferner wurde beschrieben, dass wegen der Nähe beider Strukturen zueinander der RCX am ehesten nahe der vorderen Kommissur gefährdet ist (9-11).

Dies kann beim Einbringen eines Annuloplastierings oder -bandes, beim Einnähen von Fremdmaterial sowie beim Rekonstruieren einer bestehenden Mitralklappe passieren (2).

Es wird kontrovers diskutiert, ob der Versorgungstyp einen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit des Eintretens einer solchen Komplikation besitzt. Kaklikkaya et al. (3) eruierten in ihrer Studie, dass das Risiko beim LVT und IVT am höchsten sei. Gegensätzliche Erkenntnisse gewannen Pessa et al. (4) in ihrer Studie.

Ein iatrogen verursachter Verschluss des RCX ist ein prinzipiell lebensbedrohlicher Zustand, welcher so schnell wie möglich erkannt und behoben werden sollte, um irreversible Myokardschäden oder gar einen letalen Ausgang zu vermeiden. Kürzlich wurde ein solcher Fall von Ender et al. beschrieben, bei dem es intraoperativ zu einer Flussminderung im RCX kam, was mittels TEE erkannt wurde (1).

In der hier vorgestellten Studie kam es bei drei der 110 in die Studie aufgenommenen Patienten, bei denen eine chirurgische Rekonstruktion der Mitralklappe durchgeführt wurde, während der Operation zu einer Flusskompromittierung des RCX. Mit 2,7 % ist diese Komplikationsrate zwar leicht höher als die in der Literatur beschriebene Rate von 1,8 % (1), es ist jedoch leicht vorstellbar, dass dieser Unterschied bei der kleinen absoluten Komplikationsanzahl ($n = 3$) auf einen Stichprobenfehler zurückzuführen ist. Um die

tatsächliche Rate an iatrogenen RCX-Verletzungen genauer zu bestimmen, müsste eine größere Studie mit wesentlich mehr Studienteilnehmern durchgeführt werden. Dies war jedoch nicht das Ziel der Studie hier, deren Hauptziel es war, zu untersuchen, ob eine intraoperative TEE zuverlässig das Auftreten einer iatrogenen RCX-Verletzung detektieren und einen Unterschied zwischen dem RCX und der SC darstellen kann.

In der Literatur wird kontrovers diskutiert, ob der Versorgungstyp einen Einfluss auf die Nähe des RCX zur vorderen Kommissur und damit auf das Risiko einer operativen Kompromittierung hat (9, 10, 12, 13). Alle drei Patienten, bei denen in unserer Studie der RCX iatrogen kompromittiert wurde, gehörten dem LVT an. Da insgesamt diese Komplikation jedoch nur bei drei Patienten auftrat, ist nicht klar, ob es sich bei dieser Häufung um einen Stichprobenfehler handelt, oder, ob das Risiko einer iatrogenen intraoperativen RCX-Kompromittierung tatsächlich erhöht ist, wenn der Patient dem LVT angehört.

Zurückliegende Studien bei Virmani et. al. zeigten, dass bei Patienten mit LVT und IVT der Abstand zwischen RCX und vorderer Kommissur zwischen 3,5 und 7 mm, hingegen bei Patienten mit RVT dieser Wert stets über 5 mm lag (11). Da Patienten mit einer anatomisch näher am natürlichen Mitralklappenring verlaufenden RCX ein höheres Risiko haben, scheint dies für ein erhöhtes Risiko von LVT und IVT-Patienten gegenüber RVT-Patienten zu sprechen (9-11). Die Studie von Virmani hat jedoch aufgrund ihrer geringen Patientenzahl (n = 15) diesbezüglich eine nur sehr bedingte Aussagekraft (11).

Sowohl Kaklikkaya et al. als auch Cornu et al. waren der gleichen Ansicht wie Virmani und Mitarbeiter, dass das Risiko einer Verletzung des RCX bei LVT und IVT signifikant größer ist, als bei Patienten mit RVT (10, 12). Im Gegensatz zu der Studie von Virmani, die den Versorgungstyp von MKR-Patienten untersuchte, bei denen der RCX iatrogen verschlossen wurde, führten Kaklikkaya und Mitarbeiter und Cornu und Mitarbeiter jeweils anatomische Studien an Formalin-fixierten menschlichen Herzen durch und zogen ihre Schlüsse in Bezug auf das RCX-Kompromittierungsrisiko aus den Abständen des RCX zum Mitralklappenring bei den verschiedenen Versorgungstypen (10, 12). Beide Studien waren relativ klein. Die Studie von Cornu et al. schloss lediglich 15 Herzen ein, während Kaklikkaya und Mitarbeiter 50 Herzen untersuchten.

Die Erkenntnisse dieser drei Studien stehen im Gegensatz zu denen von Pessa et al., welche ergab, dass die Wahrscheinlichkeit einer Verletzung der Koronarien unabhängig vom Versorgungstyp ist (15). Auch bei der Studie von Pessa et al. handelt es sich um anatomische Untersuchungen von konservierten Herzen. Insgesamt wurden 85 Herzen untersucht (15). In dieser Studie waren 82 % aller Patienten RVT, 17 % IVT und nur 2 % LVT. Die Distanz zwischen Mitralannulus und RCX betrug beim RVT 3,9 mm \pm 1,8 SD, beim IVT 3,5 mm \pm 1,6 SD und bei den beiden Patienten vom LVT 4,1 mm bzw. 3,7 mm. Diese Unterschiede waren nicht statistisch signifikant und damit konnte auf kein erhöhtes Risiko eines bestimmten Versorgungstyps geschlossen werden. Möglicherweise erklären sich die Unterschiede in den Ergebnissen dieser Studien durch die z. T. besonders für den LVT sehr geringen Stichprobengrößen. Weitere Studien zum Risiko bestimmter Versorgungstypen mit größeren Patientenzahlen, die sowohl anatomische Untersuchungen als auch Untersuchungen zum Versorgungstyp von Patienten, bei denen eine iatrogene RCX-Verletzung bei einer MKR auftrat, wären zur Klärung dieser Frage wichtig.

Wie in der Studie von Pessa et al. (15) waren auch in unserer Studie die meisten Patienten vom RVT, jedoch war diese Zahl mit 49 % der Patienten sehr viel geringer als in der Studie von Pessa. In Bezug auf IVT und LVT fanden wir deutlich höhere Raten als Pessa et al: 38 % unserer Patienten waren vom IVT und 13 % vom LVT. Möglicherweise erklärt sich dieser Unterschied in den unterschiedlichen Patientenkollektiven, da die Studie von Pessa et al. mit Patientenmaterial aus Brasilien durchgeführt wurde, während unsere Studie Patienten aus einem deutschen Krankenhaus untersuchte.

Im Einklang mit den Ergebnissen von Pessa und im Gegensatz zu den Ergebnissen von Kaklikkaya et al. und Cornu et al. zeigte ein einfacher Vergleich der Abstände zwischen Mitralring und RCX zwischen den verschiedenen Versorgungstypen kein erhöhtes Risiko von LVT und IVT durch einen geringeren Abstand bei diesen Versorgungstypen im Vergleich zu dem beim RVT (10, 12, 13). Tatsächlich war der durchschnittliche Abstand bei LVT und IVT in unserem Patientenkollektiv größer als beim RVT: Patienten vom RVT wiesen zwischen Mitralring und RCX im Bereich der vorderen Kommissur eine Distanz von durchschnittlich 2,8 mm \pm 1,3 SD auf. Beim IVT waren es jedoch 3,0 mm \pm 1,2 SD, beim LVT 3,4 mm \pm 1,2 SD. Die kürzeste Distanz in unserer Studienpopulation betrug 1,3 mm beim RVT und IVT, 2,2 mm beim LVT. Dennoch waren alle drei Patienten, bei denen eine iatrogene RCX-Ligatur auftrat, vom LVT. Ob dies wegen der geringen Anzahl von Patienten, bei denen eine

iatrogene RCX-Verletzung auftrat, ein zufälliges Ergebnis im Sinne eines Stichprobenfehlers ist, oder, ob andere Faktoren Patienten mit LVT einem höheren Risiko aussetzen, sollte in einer größeren Studie mit Patienten mit iatrogenen RCX-Verletzungen im Zuge einer MKR geklärt werden. Dies würde über den Umfang der vorliegenden Studie hinausgehen.

Es sind lediglich zwei Fälle einer iatrogen verursachten Ligatur des RCX beim RVT in der Literatur beschrieben. Mulpur et al. dokumentierten einen Verschluss des RCX 14 Jahre nach Mitralklappenersatz im Zusammenhang mit einem hämangiomähnlichen Gebilde am proximalen Abgang des RCX (13). Erst kürzlich beschrieben Grande et al. einen akuten Myokardinfarkt nach MKR, bei dessen Notfallkoronarangiographie sich ein subtotaler Verschluss des RCX zeigte, welcher durch eine Stentimplantation behoben werden konnte (16).

Wie in unserer Studie hier, in der alle drei Patienten mit RCX-Okklusion vom LVT waren, dokumentierten Ender et al. ihren ersten mittels TEE detektierten Verschluss des RCX bei einem Patienten vom LVT (17). Grande et al. teilten die Meinung von Pessa, dass die Wahrscheinlichkeit einer Ligatur des RCX bei Eingriffen an der Mitralklappe unabhängig vom Versorgungstyp auftrete (16).

Unsere Studie zeigt, dass unsere Methode der visuellen Darstellung des RCX reproduzierbar ist und eine iatrogene Verletzung desselben zuverlässig detektieren kann. Der RCX konnte auch aufgrund von Lumenunterschieden im Verlauf der Gefäße zuverlässig von der SC unterschieden werden. Da durch eine frühzeitige Diagnose Behandlungsmaßnahmen zeitnah veranlasst werden können, kann unser bildgebendes Verfahren daher helfen, bleibende Schäden durch einen Myokardinfarkt bei Patienten mit iatrogener RCX-Okklusion im Zuge einer MKR zu verhindern. Sie sollte daher wesentlich häufiger bei Patienten, bei denen Eingriffe an der Mitralklappe durchgeführt werden, Anwendung finden.

Diese Studie untersuchte die Auswirkungen der unterschiedlichen Möglichkeiten der Handhabung bei der Durchführung der TEE-Untersuchung auf die Ergebnisse und Qualität des bildgebenden Verfahrens nicht. Es war jedoch, wie bei allen neuen Methoden, eine deutliche Lernkurve zu verzeichnen. Anatomisch gesehen liegen sowohl der RCX als auch der SC im atrioventrikulären Bereich. Die Unterscheidung beider Strukturen kann leicht durchgeführt werden, wenn beachtet wird, dass der RCX direkt an der anterolateralen

Kommissur der Mitralklappe, der SC jedoch in unmittelbarer Nähe der P2/P3-Region der Mitralklappe gelegen ist.

Zusätzlich ist die venöse Gefäßwand des SC im Gegensatz zur arteriellen Gefäßwand des RCX äußerst dünn und wird im Verlauf bis zum rechten Atrium nur geringfügig dicker. Die Gefäßwand des RCX stellt sich jedoch als echoreiche Struktur dar, deren Kaliber im Verlauf schmaler wird. Ein niedrig gewähltes Nyquistlimit ist sehr hilfreich bei der Unterscheidung beider Kaliber, da dadurch der Fluss wesentlich besser dargestellt werden kann.

Schwierigkeiten mit der Messung des RCX-Flusses können dann auftreten, wenn ein Kollateralfluss in unmittelbarer Nähe besteht und mittels Farbdoppler die genaue Flussrichtung nicht bestimmt werden kann. Koronare Luftembolien, eine potenziell tödliche Komplikation, treten bei Eingriffen am offenen Herzen relativ häufig auf (16, 17). TEE ist eine zuverlässige Technik, um diese Luftembolien zu diagnostizieren (19). Leider stellt sich bei einer koronaren Luftembolie ein ähnliches Bild wie bei einer iatrogenen RCX-Verletzung dar. Bei einer RCX-Verletzung zeigen sich jedoch klinisch eine ST-Strecken-Hebung sowie abnormale Wandbewegungsstörungen aufgrund einer Ischämie (20). Dieses wurde bei allen Patienten in unserer Studie, die eine iatrogene RCX-Verletzung hatten, festgestellt.

Obarski et al. stellte die Hypothese auf, dass eine Luftembolie in die rechte Koronararterie besonders dann auftreten kann, wenn der Operateur manuell versucht, die Funktion und Dichtigkeit der reparierten Mitralklappe zu testen (21). Der weitere Unterschied zwischen einer iatrogenen RCX-Verletzung und einer Luftembolie liegt in der mit zunehmender Zeit spontanen Reversibilität der Symptome der Luftembolie.

Nicht alle RCX-Verletzungen sind auf eine fehlerhaft gesetzte Naht während Mitralklappeneingriffen zurückzuführen. Andere mögliche Ursachen einer neu aufgetretenen RCX-Stenose sind ein Thrombus oder eine Hämatom, welche auf das chirurgische Trauma zurückzuführen sind, sowie eine direkte Verletzung durch eine umfangreiche Radiofrequenzablation (22). Auch hier ist eine möglichst schnelle Diagnose notwendig, um mögliche Folgeschäden zu verhindern. In unserer Studie traten zwar keine RCX-Stenosen aus diesen Gründen auf, die gute Visualisierung des RCX mittels TEE deutet jedoch darauf hin, dass auch in diesen Fällen die vorgestellte intraoperative TEE-Technik viele Vorteile bietet.

Wir führten nicht bei allen Patienten unserer Studie postoperativ eine CA durch und können somit auch nicht definitiv einen (evtl. nur partiellen) Verschluss des RCX in solchen Fällen ausschließen, in denen trotz des RCX-Verschlusses ein normaler Befund in der TEE vorlag. Keiner unserer Patienten zeigte jedoch klinische, biochemische oder elektrokardiographische Anzeichen einer myokardialen Ischämie, sodass eine signifikante Verletzung des RCX ausgeschlossen werden konnte.

Schlussfolgernd kann gesagt werden, dass jegliche Eingriffe an der Mitralklappe mit dem Risiko einer Verletzung des RCX einhergehen. Frühes Erkennen dieser Komplikation kann einen schlechten oder gar letalen Verlauf abwenden. In unserer Studie zeigte sich, dass im modifizierten mitt-ösophagealen Aortenklappen-Längsachsenschnitt, wobei der Transducer zwischen 90 und 130 Grad stehen und eine Rotation im Uhrzeigersinn erfolgen sollte, sich der RCX am besten darstellen lässt.

Der RCX kann von der SC anhand ihrer dickeren Gefäßwand sowie der Kaliberunterschiede im Verlauf unterschieden werden. Rückschlüsse auf den Versorgungstyp sind ebenfalls möglich. Durch das Nutzen dieser Technik war es uns möglich, bei drei der 110 Patienten, die sich einer MKR unterzogen, eine Verletzung des RCX zu detektieren. Alle wurden zügig revidiert und es resultierten keinerlei postoperativen Komplikationen daraus.

Auch wenn die Inzidenz einer RCX-Verletzung bei Mitralklappeneingriffen nur gering ist, sollte der von uns erarbeitete Untersuchungsgang häufiger durchgeführt werden, um diese Komplikation noch intraoperativ zu erkennen und Lösungsstrategien zu finden, die eine ausgedehnte Myokardverletzung abwenden können.

5 Zusammenfassung

Eine seltene, aber schwerwiegende und möglicherweise tödliche Komplikation einer MKR ist eine iatrogene Verletzung des RCX. Konventionell wird sie normalerweise nach der Operation anhand von klinischen, elektrokardiographischen und/oder biochemischen Symptomen diagnostiziert. Dabei geht wertvolle Zeit zur Verhinderung von Folgeschäden verloren. In der vorliegenden Studie, in die 110 Patienten aufgenommen wurden, die eine MKR erfuhren, wurde untersucht, ob eine intraoperative Diagnose einer iatrogenen Verletzung des RCX mittels TEE zuverlässig möglich ist. Ferner wurde untersucht, ob Korrelationen zwischen Versorgungstyp, Abstand des RCX zum Mitralannulus und Inzidenz einer iatrogenen RCX-Verletzung existieren.

Der Versorgungstyp aller 110 Patienten wurde mittels CA festgestellt. 49 % der Patienten gehörten dem RVT an, 38 % waren vom IVT und 13 % vom LVT. Bei fast allen Patienten war ein Rückschluss auf den Versorgungstyp auch mittels TEE möglich. Der Abstand zwischen Mitralannulus und RCX war beim RVT durchschnittlich am geringsten, auch wenn diese Werte wegen der geringen Anzahl von LVT-Patienten nicht signifikant waren. Dies wird in der Literatur kontrovers diskutiert und möglicherweise sind diese Differenzen auf Unterschiede in der Prävalenz der Versorgungstypen in unterschiedlichen Bevölkerungsgruppen zurückzuführen. Obwohl im Allgemeinen von einem höheren Risiko einer iatrogenen RCX-Verletzung ausgegangen wird, wenn der Abstand zwischen RCX und natürlichem Mitralring geringer ist, waren drei von 110 Patienten, bei denen in dieser Studie eine iatrogene Verletzung auftrat, vom LVT, der hier einen durchschnittlich größeren Abstand zeigte als der RVT. Aufgrund der geringen Anzahl von RCX-Verletzungen sind diese Zahlen nicht signifikant, es wäre jedoch interessant, dies in einer größeren Studie nachzuverfolgen.

Die drei Patienten, bei denen eine RCX-Verletzung auftrat, konnten mittels TEE zuverlässig diagnostiziert werden. Sofortige Maßnahmen verhinderten Folgeschäden und im weiteren Verlauf ihrer Rekonvaleszenz zeigten sich keinerlei Anzeichen eines Myokardinfarkts. Es kann daher geschlossen werden, dass TEE ein zuverlässiges Werkzeug bei der Verhinderung von bleibenden Schäden nach einer iatrogenen RCX-Verletzung ist und weiter Verbreitung finden sollte.

6 Literaturverzeichnis

1. Ender J, Selbach M, Borger MA, Krohmer E, Falk V, Kaisers UX, et al. Echocardiographic identification of iatrogenic injury of the circumflex artery during minimally invasive mitral valve repair. *Ann Thorac Surg*. Elsevier; 2010 Jun 6;89(6):1866–72.
2. Pericardium and Heart: Valves and Fibrous Skeleton - Netter Medical Images [Internet]. Elsevier. 2014 [cited 2014 Nov 21]. Available from: <http://www.netterimages.com/image/7205.htm>
3. Vaquerizo DB. Perioperative ST-segment Elevation Myocardial Infarction during Mitral Valve Annuloplasty: Role of Early Angiography. *J Clin Exp Cardiol*. 2011 May 25;
4. Schünke M. Prometheus - Lernatlas der Anatomie: Innere Organe ; 118 Tabellen. 2009.
5. Transesophageal ECHO [Internet]. 2013 [cited 2014 Nov 17]. Available from: <http://www.echocardiographer.org/TEE.html>
6. Shanewise JS, Cheung AT, Aronson S, Stewart WJ, Weiss RL, Mark JB, et al. ASE/SCA guidelines for performing a comprehensive intraoperative multiplane transesophageal echocardiography examination: recommendations of the American Society of Echocardiography Council for Intraoperative Echocardiography and the Society of Cardiovasc. Anesth Analg. 1999 Oct;89(4):870–84.
7. Krohmer. DVD Grundkurs TEE-13 Wandbewegungsstörungen. Krohmer.pps. 2014.
8. Gammie JS, Sheng S, Griffith BP, Peterson ED, Rankin JS, O'Brien SM, et al. Trends in mitral valve surgery in the United States: results from the Society of Thoracic Surgeons Adult Cardiac Surgery Database. *Ann Thorac Surg*. 2009 May;87(5):1431–7; discussion 1437–9.
9. Aybek T, Risteski P, Miskovic A, Simon A, Dogan S, Abdel-Rahman U, et al. Seven years' experience with suture annuloplasty for mitral valve repair. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2006 Jan;131(1):99–106.
10. Danielson GK, Cooper E, Tweeddale DN. Circumflex Coronary Artery Injury During Mitral Valve Replacement. *Ann Thorac Surg*. Elsevier; 1967 Jul 7;4(1):53–9.
11. Virmani R, Chun PK, Parker J, McAllister HA. Suture obliteration of the circumflex coronary artery in three patients undergoing mitral valve operation. Role of left dominant or codominant coronary artery. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1982 Nov;84(5):773–8.
12. Cornu E, Lacroix PH, Christides C, Laskar M. Coronary artery damage during mitral valve replacement. *J Cardiovasc Surg (Torino)*. 1995 Jun;36(3):261–4.
13. Mulpur AK, Kotidis KN, Nair UR. Partial circumflex artery injury during mitral valve replacement: late presentation. *J Cardiovasc Surg (Torino)*. 2000 Apr;41(2):333–4.

14. Kaklikkaya I, Yeginoglu G. Damage to coronary arteries during mitral valve surgery. *Heart Surg Forum*. 2003 Jan;6(6):E138–42.
15. Pessa C, Gomes W, Catani R, Prates J, E B. Anatomical relationship [sic] between the posterior mitral valve annulus and the coronary arteries. Implications to operative treatment. *BJCVS*. 2004;19(4):72/377.
16. Grande AM, Fiore A, Massetti M, Viganò M. Iatrogenic circumflex coronary lesion in mitral valve surgery: case report and review of the literature. *Tex Heart Inst J*. 2008 Jan;35(2):179–83.
17. Ender J, Gummert J, Fassl J, Krohmer E, Bossert T, Mohr FW. Ligation or distortion of the right circumflex artery during minimal invasive mitral valve repair detected by transesophageal echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2008 Apr;21(4):408.e4–5.
18. Svenarud P, Persson M, van der Linden J. Effect of CO2 insufflation on the number and behavior of air microemboli in open-heart surgery: a randomized clinical trial. *Circulation*. 2004 Mar 9;109(9):1127–32.
19. Dalmas JP, Eker A, Girard C, Flamens C, Neidecker J, Obadia JF, et al. Intracardiac air clearing in valvular surgery guided by transesophageal echocardiography. *J Heart Valve Dis*. 1996 Sep;5(5):553–7.
20. Nakajima H, Ikari Y, Kigawa I, Kitamura T, Hatori M, Tooda E, et al. Rapid diagnosis and management of intraoperative myocardial infarction during valvular surgery: using intraoperative transesophageal echocardiography followed by emergency coronary artery bypass grafting without coronary angiography. *Echocardiography*. 2005 Nov;22(10):834–8.
21. Obarski TP, Loop FD, Cosgrove DM, Lytle BW, Stewart WJ. Frequency of acute myocardial infarction in valve repairs versus valve replacement for pure mitral regurgitation. *Am J Cardiol*. 1990 Apr 1;65(13):887–90.
22. Raza JA, Rodriguez E, Miller MJ. Successful percutaneous revascularization of circumflex artery injury after minimally invasive mitral valve repair and left atrial cryo-MAZE. *J Invasive Cardiol*. 2006 Nov;18(11):E285–7.

7 Danksagung

Ich möchte besonders PD Dr. Ender für die Betreuung und Integration, sowie für die lehrreiche Zeit in all den Jahren danken.

Ferner möchte ich meiner Familie – speziell meiner Frau Mirka und meinem Sohn Felix für viele Stunden der Geduld und Nachsicht, sowie meiner Schwester Stephanie für hilfreiche Tipps und Anregungen danken.

8 Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren.

Datum

Unterschrift

9 Lebenslauf

Schulbildung

06/1987 – 07/1991 Bertrada- Grundschule, Prüm

08/1991 – 05/2001 Regino- Gymnasium, Prüm Abitur

Berufsausbildung/Zivildienst

06/2001 – 04/2002 DRK KV Bitburg-Prüm, Zivildienst, Ausbildung zum Rettungssanitäter

Berufliche Tätigkeit

05/2002 – 09/2003 Hauptamtliche Tätigkeit als RS im Rettungsdienst auf KTW, RTW, NEF

Studium

10/2003 – 12/2009 Studium der Humanmedizin an der Universität Leipzig

Berufliche Tätigkeit

01/2010 – 12/2014 Assistenzarzt in Weiterbildung Helios Klinikum Borna, Klinik für
Anästhesie, Intensiv-, Schmerz- und Palliativmedizin

seit 01/2015 Assistenzarzt in Weiterbildung Helios Klinik Leisnig, Klinik für
Anästhesie, Intensiv-, Schmerz- und Notfallmedizin